

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭60—15606

⑪ Int. Cl.⁴

G 02 B 6/12

G 02 F 1/03

識別記号

庁内整理番号

7370—2H

7448—2H

⑬ 公開 昭和60年(1985)1月26日

発明の数 1

審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑭ 光集積回路

⑮ 特 願 昭58—123239

⑯ 出 願 昭58(1983)7月8日

⑰ 発 明 者 松村宏善

国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番
地株式会社日立製作所中央研究
所内

⑱ 発 明 者 石田宏司

国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番
地株式会社日立製作所中央研究
所内

⑲ 出 願 人 株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台4丁
目6番地

⑳ 代 理 人 弁理士 高橋明夫 外1名

明 細 書

発明の名称 光集積回路

特許請求の範囲

1. 基板、リッジをもつ光導波層をそなえた光集積回路において、そのリッジ及び光導波層上に耐熱性高分子樹脂の硬化膜をほどこしたことを特徴とする光集積回路。
2. 特許請求の範囲第1項記載の光集積回路において、少なくとも電磁界制御用電極と引出し電極を供え、前記耐熱性高分子樹脂の膜厚が200～1000 nmであることを特徴とする光集積回路。

発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は光集積回路、特に耐熱性高分子樹脂をクラッド層として用いる事により光伝送損失を大幅に小さくした事を特徴とする光集積回路に関する。

〔発明の背景〕

一般に、光集積回路は第1図に示したような構

造のものが複雑に組み合わされている。すなわち基板(例えばガドリニウム・ガリウム・ガーネット:GGG)1上にそれよりも屈折率の高い光導波層(例えばイットリウム・鉄・ガーネット:YIG)2をもち、その導波層には帯状の光導波路(リッジと呼ぶ)3が形成されている。光はこのリッジの部分を伝搬し、例えば、第1図のように2本のリッジが合近接している場合には、リッジ3-1を伝搬する光は、リッジの形状、屈折率等で定められたある長さの間で、リッジ3-2にすべての光のエネルギーが乗り移る。この場合例えば第2図(a)に示すようにリッジの上部に磁界をリッジに印加する磁石4をおき、磁界の強さをコントロールすることによつて、3-2への乗り移りを防止し3-1の光は3-1の出力端から出す事も可能である。通常磁界をコントロールするには磁石というよりもサーペンタインコイル(曲がりくねったコイル)を用いるのが通常である。この場合にはコイルは直接リッジ上に形成することが困難で、リッジ上に平坦な媒質を作成しその上

部に形成することが必要である。一方基板1に電気光学結晶(例えばガリウム・砒素GaAs)を用い同時に光導波路2にそれより屈折率の高い電気光学結晶(例えば高い抵抗値をもつGaAs)を用いた場合にはリッジの上部に第2図(b)に示すように電極5-1, 5-2をつけ、下部にも電極6をつけて両端の電圧をコントロールすることによって光の乗り移りを防止する。これが光集積回路の内の光スイッチの原理であるが前者は電気光学効果を用い、後者は電気光学効果を用いている。一般に光集積回路では電気・磁気効果を利用する。第1図では最も簡単な場合について記したが一般に光集積回路は複雑な形状をしている。例えば第3図に示すような構造になる。

このような曲がり光導波路を含む複雑な光集積回路の問題点は光の伝送損失をいかに小さくするかという事である。特に問題となるのは光の散乱損失である。光の散乱損失は、光導波路を構成する材料の熱的ゆらぎによる不均一に原因をかくと、光導波路の構造的な要因からくる光散乱に分類で

きる。前者は材料により決定され、石英系ガラスでは光の波長 $1\mu\text{m}$ で約 0.8 dB/cm であり、光集積回路としては無視出来るほどに小さい。しかし後者は、光導波路の作製方法によつて大きく変動し、一番問題である。

リッジを作製するには、通常ウエットエッチング法、ドライエッチング法が用いられる。ウエットエッチング法とはYIGなどを熱リン酸によつて所望の部分だけエッチングする方法で、ドライエッチング法とは、例えばアルゴンイオン(Ar⁺)をYIGに当て、所望の部分を選択的にエッチングする方法である。これらの方法で作製したリッジの側面は、第4図に示すような凹凸7が存在する。これは、エッチングのムラや材料の不均一性およびリッジを作製するときのホトマスクの凹凸などによつて生じる。このようなリッジを伝搬する光は側面の凹凸により光散乱を受け光の伝送損失が生じる。この光の伝送損失 α はリッジの屈折率を n_1 とし、その外部の屈折率を n_2 とすれば、 α は $n_1^2 - n_2^2$ にほぼ比例し、リッジ側面の凹凸

の周期に大きく影響される。現在リッジの側面の凹凸は約 $0.08\mu\text{m}$ 程度存在する。これによるリッジの直線部の光損失は 1 dB/cm 以下である。このように伝送損失が小さいのは第5図に示すようにリッジ中を伝搬する光のエネルギー(電界分布E)の外部へのしみ出しが直線部では小さいため、リッジ側面の凹凸の影響が少ないためである。しかしながら、第5図に示すように曲り部における光エネルギー(電界分布E)は外側に大きくもれるため、リッジ側面の凹凸の影響を受け、光散乱が大きくなる。

この凹凸の影響をさらに明白にするため、基板1としてGa_{0.55}As_{0.45}を光導波路2としてGaAsを用い、厚み $0.8\mu\text{m}$ の光導波路2に曲げたリッジパターンを形成した後、イオンミリング装置にて深さ $0.5\mu\text{m}$ 、巾 $3\mu\text{m}$ エッチングした。すなわちリッジは巾 $3\mu\text{m}$ 、光導波路よりの高さ $0.5\mu\text{m}$ 、基板よりの高さ $0.8\mu\text{m}$ の構造を有している。曲げ半径 0.7 mm から 0.5 mm の曲率で曲げている。この伝送損失を $1.15\mu\text{m}$ の光波長

のHe-Neレーザー光を用いて測定した。その結果を第6図に示す。損失は曲げ損失と散乱損失の和であるが、曲げ半径が小さくなると曲げ損失の方が、光散乱損失より大きくなるため、第6図に直線で示すように直線状に増大する。しかし曲げ半径が $0.3\mu\text{m}$ 程度の所では損失は直線変化からずれている。このずれは明らかに光散乱によるものである。第3図に示したように光集積回路のパターンが複雑になると曲がり光導波路の部分が多くなり、第6図に示した 0.1 mm といった極端に小さな曲げ半径で曲げないまでも、 1 mm 程度の曲げ半径はパターンの高密度化の上からも必要である。このため光散乱の減少が大きな課題であつた。この曲げ半径を減少させるため、リッジ側面の凹凸を、光ファイバにおけるクラッドの役目をするもので被覆し、凹凸の効果を小さくするところみが行われている。凹凸の効果が小さくなるのは、先に記したように散乱損失が、リッジと外部の屈折率の2乗の差に比例するため、この差を小さくすればよいためである。また、側面に附着したごみ、ほ

こり等の影響をなくするためである。例えば LiNbO_3 の屈折率は約 2.2 であるため、外部が空気の場合と SiO_2 ガラスでは約 3.5 分の伝送損失が改善されることになる。この効果を用いているわけである。この被覆膜として要求される特性は、①側面の凹凸を充分に被覆するものである、②光の伝送損失の小さなものである、③リッジに歪を発生させないものである、④リッジの屈折率に近いものすなわち $n_1 \approx n_2$ であることが必要である。

現在、被覆には SiO_2 等をスパッタリング法で作製することが行われている。これは上記条件の①及び④を満足していない。④については記述するまでもない。①については、スパッタリング法等では充分に側面の凹凸をうめるに充分ではない。リッジ側面の凹凸がリッジの高さ方向で変化し、いわゆる洞窟のようになっている場合には凹凸すべてをうめることは不可能で、空気層（屈折率 1 の層）が残る光散乱損失が大きく残る欠点がある。

〔発明の目的〕

た後、所定量の PII を溶媒（たとえば、N メチル 2 ピロリドンと N, N ジメチルアセトアミドの 1 : 1 混合液など）に溶解した液を回転塗布法などによつて塗布した後、熱処理を行つて硬化することによつて形成される。

得られる PII 膜 8 の膜厚は PII 濃度と回転塗布における回転数によつて、所望の厚さとすることができ、たとえば PII 濃度 8 重量％、回転数 3500 rpm とすれば、熱処理後における厚さが 300 nm の PII 膜が形成される。PII 膜を塗布した後、たとえば 350℃、1 時間の熱処理を行えば、PII 膜は硬化し、光集積回路の被覆膜として、十分な特性を有する硬化膜が得られる。PII は溶液を回転塗布法などによつて塗布するため、リッジ凹凸を完全に埋めつくし、かつ硬化後も変形が非常に小さく、リッジの凹凸を完全にふさいでしまう。また PII は第 8 図に示すように光の透過性が 0.5 μm 以上の長波長帯で優れており、ほとんど光の伝送損失が無視出来るほど小さい。更に PII 膜の屈折率は約 1.72 と大きく、

本発明の目的は、従来の光集積回路の有する上記問題を解決し、低損失な光導波路を提供することにある。

〔発明の概要〕

上記目的を達成するため、本発明は、所定の膜厚を有する耐熱性高分子樹脂の硬化膜（以下、単に樹脂膜と記す）を少なくとも上記 3 の被覆膜として使用するものである。

〔発明の実施例とその効果〕

以下、本発明を実施例により詳細に説明する。

第 7 図は本発明の一実施例を説明するための図であり、GaAs 基板 1 上に形成された屈折率が 3.4 の GaAs リッジ 3-1, 3-2 をもつ光導波路 2 上に被覆層 8 としてリッジ上の厚さ 200 nm のポリイミド系樹脂、ここではポリイミド-インドロキナゾリンデイオン（Polyimide-isindroquinazolinidion 以下、PII と記す）の硬化膜を、それぞれ使用した光集積回路の一部断面構造が示されている。上記 PII 膜 8 は電極 5-1, 5-2 をもつリッジ 3-1, 3-2 を形成し

LiNbO_3 , GaAs, YLG 等に近づくという大きな特徴を有している。すなわち前述の被覆膜の条件を完全に満たしている。本 PII 膜を第 6 図に示した曲がりリッジに用いた所、伝送損失は曲げ半径 0.5 mm で 9 dB/cm と約 86 分の波少を見た。このように PII 膜は光の伝送損失を大幅に波少させる効果を有している。

更に詳細に検討した所、次の効果があることが判明した。

光集積回路では、更に、各々のリッジに光のコントロール用の電流を流すために、取り出し用配線パターンを形成する必要がある。例えばその簡単な構成は第 9 図に示す通りである。リッジ 3-2 の電極を制御する場合にはリッジ 5-1, 5-3 上には絶縁層 9 を介して帯状の電極帯 10 を配置せねばならない。この工程は通常リフトオフプロセスを用いて行われる。従来の光集積回路においては、上記、例えばリッジ 5-1, 5-3 の端部一部を除去したのち第 10 図に示すように絶縁層 9 を介さずに直接電極をつけた場合や第 9

図のように絶縁層9を介してその上に電極帯をつける場合とが採用されている。しかしながら、例えば第9図に示すようにリッジの部分では大きな段差が生じ、電極帯10のリフトオフによる作製が非常に困難であつた。すなわち、絶縁層9に第9図に示すような急激な段差が生じると、この段差によつて電極帯10が切断したり、細くなつて発熱により地断が発生したり、リフトオフプロセスにおいて不必要部分が除去出来ない場合が発生し、信頼性が大幅に低下してしまう。このような段差による障害は光集積回路の集積度が高くなるほど顕著になるので高集積光集積回路を形成するためには絶縁層の段差をなくし平坦化することが、ぜひ必要である。ことに最近では微細なパターンを形成するために、リッジ型はイオンミリングによつて形成され、この場合のリッジの側面の傾きは、ほぼ 80° と垂直に近いものとなるので、上記段差はますます大きくなつてしまう。このため第10図に示したように直接に電極帯10をリッジにつける方法では、高集積光集積回路を形成する

には不適當である。このため絶縁層9を用いる第9図の構成を取る必要がある。

PII膜は光学特性がよい以外に電気絶縁性にも優れている。リッジ3-1, 3-2の高さは $200\text{ nm} \sim 1500\text{ nm}$ であるため、絶縁層として膜厚が上記PII膜と同じ 200 nm の例えば SiO_2 膜を被着すると第9図に示したような急激な段差が生じ電極帯10の接続性が非常に悪くなる。しかし、絶縁膜としてPIIを用いるとPIIは液体であるため、PII膜表面の凹凸を減少させて平坦になろうとする性質がある。したがつてPIIを回転塗布法によつて塗布したりあるいは他の方法によつて塗布した後、所定時間静置すればリッジ3-1, 3-2に起因するPII膜9表面における段差は大幅に減少して平坦になり、その結果電極帯10の段差も第9図にくらべて著しく減少する。

本発明において上記PII膜8のリッジ上面上の膜厚も極めて重要である。PII膜8の厚さが薄すぎると、段差を減少させる効果が不十分に

り、極端な場合は電極5-1と電極帯10の間の絶縁が不良になつてしまふ。第11図に示すようにリッジの高さを例えば 350 nm とする場合段差部における傾斜角を θ とすると、第12図に示すように傾斜角 θ はPII膜厚 h が大きくなるにしたがつて小さくなる。傾斜角 30° 以下の場合には電極帯の切断が生じていない。このためにはPII膜厚は 200 nm 以上必要である。しかもPII膜8の膜厚 h が 200 nm 以下になると絶縁が不良になるのでこの理由からもPII膜8の膜厚 h は 200 nm 以上必要である。

一方、光集積回路において磁界をコントロールするにはPII膜上にサーペンタインコイルをもりつけ、リッジに磁界を印加することが必要である。この場合、PII膜の膜厚 h を厚くすると印加磁界の集中度が悪くなりこのため膜厚は 1000 nm 以下でなければならない。

上記条件を満足して本発明に使用できる耐熱性高分子樹脂は多くのものがある。たとえば上記PIIなどポリイミド系以外にも例えばエポキシ

系樹脂、フェノール系樹脂、ポリアミド・イミド系樹脂などを用いることが出来、またこれらの樹脂を2つ以上組合せてもよい。

図面の簡単な説明

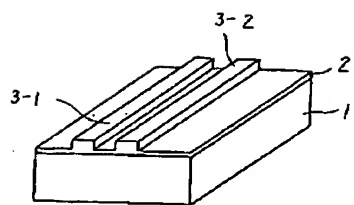
第1図、第3図は光集積回路の基本構成を示す図、第2図はその断面図、第4図、第5図は凹凸と曲がり部の電界の移動を示す図、第6図は曲げ半径に対する伝送損失を示す図、第7図は本実施例を示す図、第8図はPIIの光の透過率を示す図、第9図は従来の光集積回路断面図、第10図はリフトオフ電極をつけた従来の光集積回路の全体図、第11および第12図はPII膜の膜厚と傾斜角を示す図である。

1…基板、2…光学波層、3…リッジ、4…磁石、5, 6…電極、7…リッジ側面の凹凸、8…クラッド層、9…絶縁層、10…電極帯。

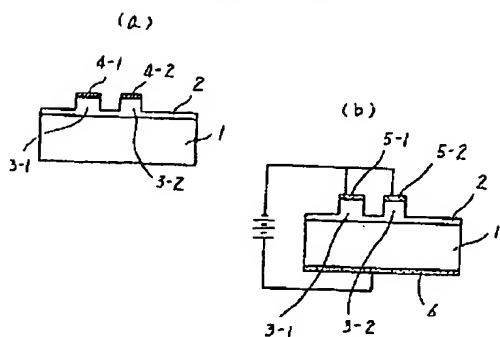
代理人 弁理士 高橋明夫



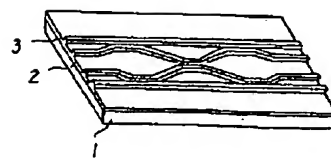
第 1 圖



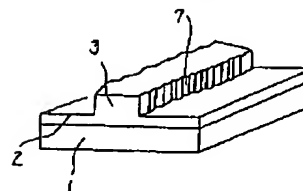
第 2 圖



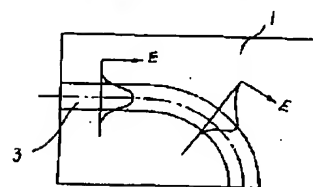
第 3 圖



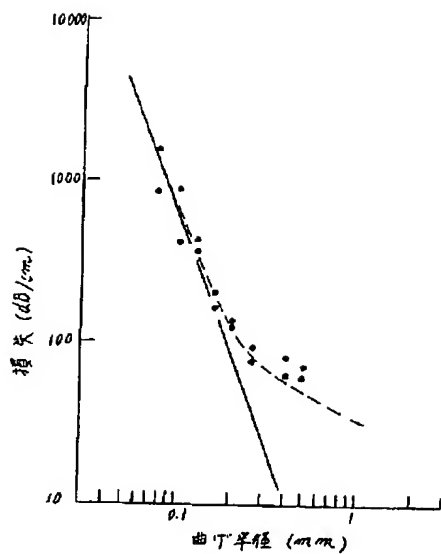
第 4 圖



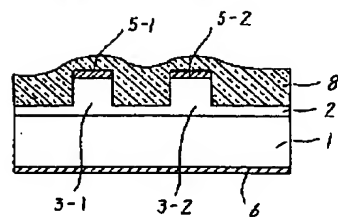
第 5 圖



第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖

